

PERANCANGAN DAN REALISASI RECTENNA ARRAY BOW-TIE DIPOLE FREKUENSI 2,4 GHz DENGAN VOLTAGE MULTIPLIER UNTUK ENERGY HARVESTING

DESIGN AND IMPLEMENTATION BOW-TIE DIPOLE ARRAY RECTENNA 2,4 GHz FREQUENCY WITH VOLTAGE MULTIPLIER FOR ENERGY HARVESTING

Hendro Fransniko Situmeang¹, Dr. Levy Olivia Nur, ST.MT.², Zulfi, S.T., M.T.³

Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹hendronico@gmail.com, ²levyolivia@telkomuniversity.ac.id, ³zulfi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Kebutuhan energi hingga saat ini kebanyakan mengharapkan hanya dari fosil. Padahal sumber fosil seiring berjalannya waktu akan habis terpakai. Salah satu solusi menanggulangi hal tersebut adalah dengan *energy harvesting* pada frekuensi radio. Tugas akhir ini membahas tentang perancangan dan pembuatan *rectenna* (*rectifying antenna*) untuk *energy harvesting*. Input dari *rectenna* adalah gelombang elektromagnetik dengan keluaran berupa DC. Antena yang dirancang dengan *patch bowtie* dengan array 1x2 dan *groundplane* yang dimodifikasi dengan u-slot dan *rectifier* menggunakan topologi 7 stage *voltage multiplier* dengan dioda scottky bat 46.

Pada tugas akhir ini, nilai *return loss* setelah pengukuran adalah -18,445. Nilai VSWR pada frekuensi 2,4 GHz adalah 1,29 dan *gain* pada frekuensi kerja sebesar 2.798 dBi. *Rectifier* dengan input -2 dB dapat menghasilkan keluaran rata-rata 86,77 mV dan semakin rendah frekuensi maka semakin besar keluaran *rectifier*. Pengukuran *rectenna* dengan input rata-rata -26 dBm dapat menghasilkan keluaran 8,09 mV.

Kata Kunci : *Rectenna*, *Energy Harvesting*, Dioda Schottky, Mikrostrip

Abstract

Energy needs up to now mostly expect only from fossils. Though fossil sources over time will be used up. One solution to overcome this problem is energy harvesting on radio frequency. This final project discusses the design and manufacture of *rectenna* (*rectifying antenna*) for energy harvesting. Input from *rectenna* is an electromagnetic wave with an output in the form of DC. Antenna designed with *patch bowtie* with a 1x2 array and *groundplane* modified with u-slot and *rectifier* using a 7 stage *voltage multiplier* topology with bat 46 scottky diode.

In this final project, the return loss value after the measurement is 18,445. The VSWR value at the 2.4 GHz frequency is 1,29 and gain at work frequency of 2.798 dBi. An input -2 dB rectifier can produce an average output of 86.77 mV and the lower the frequency the greater the output of the rectifier. Measurement of *rectenna* with an average input of -26 dBm can produce output of 8,09 mV.

Keywords: *Rectenna*, *Energy Harvesting*, Schottky Diodes, Microstrip

1. Pendahuluan

Sekarang ini, sumber energi yang banyak digunakan adalah bahan bakar fosil. Ketersediaan bahan bakar fosil seiring berjalannya waktu semakin sedikit dan yang akan datang bahan bakar fosil akan habis. Salah satu solusinya adalah dengan *energy harvesting*. Pada penelitian ini akan dilakukan *energy harvesting* pada frekuensi radio. Pengumpulan energi pada frekuensi radio atau biasa dikenal dengan RF *energy harvesting*.

Pada RF *energy harvesting*, komponen utamanya adalah antena dan *rectifier* pada penerima atau lebih dikenal dengan istilah *rectenna*. Pada penelitian ini, antena yang digunakan adalah antena mikrostrip yang berbentuk *bowtie dipole* dengan konfigurasi *array* dimana antena ini memiliki bentuk yang sederhana dan *gain* yang tinggi. Pada penelitian ini menggunakan *patch bowtie* karena karakteristiknya memiliki *bandwidth* yang lebar. Perancangan antena *bowtie dipole* pada tugas akhir ini bekerja pada frekuensi 2,4 GHz. *Gain* yang kecil pada karakteristik mikrostrip menjadi tantangan untuk dapat diaplikasikan pada *energy harvesting*. Penerapan *array* pada antena dapat meningkatkan sinyal terima yang besar atau *gain*, sehingga sejalan dengan hal tersebut, daya yang diterima akan semakin besar. Pada penerapannya antena

mikrostrip *bowtie dipole array* ini akan menggunakan subsrat FR4 dengan ketebalan 1,6 mm untuk kemudahan desain dan ketersediaanya dipasaran.

Topologi *rectifier* yang dipakai pada penelitian ini adalah *voltage multiplier*, yang mana topologi ini dapat memultiplikasi tegangan. Dioda yang dipakai bertipe BAT46 karena bekerja pada tegangan yang sangat rendah dan perubahan antara *on state* dan *off state* yang cepat.

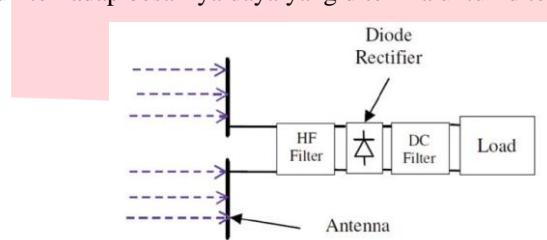
2. Dasar Teori

2.1. Radio Frequency Energy Harvesting

RF *energy harvesting* adalah teknik pengumpulan energi dengan memanfaatkan sinyal RF sebagai sumbernya. Sinyal RF biasanya di pancarkan oleh *Base Transceiver Station* (BTS), *broadcasting station* dan *handphone* seluler[5].

2.2. Rectenna (Rectifying Antenna)

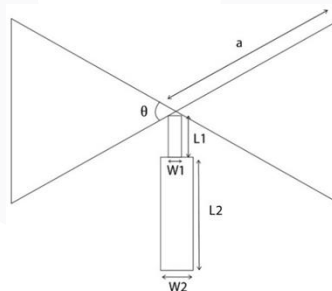
Rectenna adalah antenna dengan *rectifier* yang digunakan untuk mengubah energi elektromagnetik menjadi listrik arus searah (DC). Rectena digunakan untuk menerima daya oleh gelombang radio pada sistem *wireless power transfer* yang bekerja pada *High Frequency* (HF) atau *Ultra High Frequency* (UHF). Antena memiliki peran penting sebagai perangkat yang menerima gelombang elektromagnetik. Tingginya efisiensi antena berpengaruh terhadap besarnya daya yang diterima untuk diteruskan ke *rectifier*.



Gambar 1. Skema dasar sirkuit *rectenna*.

2.3. Antenn Mikrostrip Bowtie

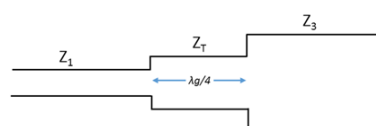
Antena mikrostrip merupakan antena yang terbuat dari konduktor yang menempel pada suatu dielektrik dan pada bagian bawah terdapat *groundplane*, pada umumnya dicetak pada PCB (*Printed Circuit Board*). Berikut merupakan struktur antena mikrostrip *bowtie*. Antena *bowtie* termasuk pada kategori *dipole*, karena bentuk *patch*-nya yang membentang.



Gambar 2. Struktur antena mikrostrip *bowtie*.

2.4. Penyesuaian Impedansi

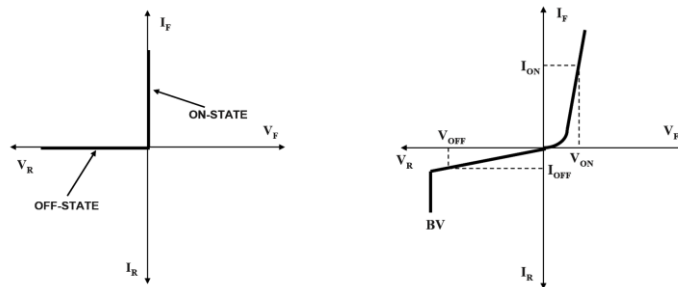
Perancangan suatu antena mikrostrip dengan konfigurasi array harus dilakukan penyesuaian impedansi (*impedance matching*) pada salurannya. Saluran dikatakan menjadi beban yang cocok jika impedansi beban sama dengan impedansi karakteristik saluran transmisi ($Z_o = Z_L$)[6]. Saluran harus menggunakan susunan dari *power divider* dan saluran transmisi untuk membawa sinyal ke setiap elemen[7].



Gambar 3. Transformator $\lambda/4$.

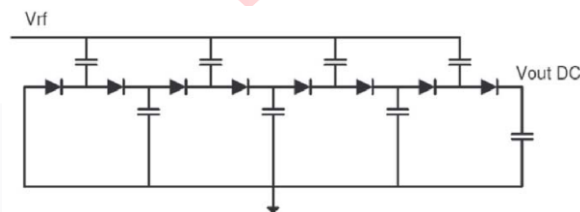
2.5. Voltage Multiplier Rectifier Topology

Rectifier atau yang dikenal penyearah gelombang adalah rangkaian pengubah *alternating current* (AC) menjadi *direct current* (DC). Penyearah yang ideal harus menunjukkan karakteristik tegangan-arus (i-v) yang ditunjukkan pada Gambar 4. Penyearah ideal harus dapat beralih antara kondisi-on dan kondisi-off dengan waktu *switching* nol[3].



Gambar 4. Karakteristik ideal dan umum *power rectifier*.

Konsentrasi doping dan ketebalan daerah drift perangkat harus dipilih dengan cermat dengan target desain untuk *Breakdown Voltage* (BV)[3]. Pada topologi *voltage multiplier*, saat setengah gelombang positif, energi yang masuk ke antenna disimpan pada input kapasitor dan pada saat setengah gelombang negatif energi yang tersimpan disalurkan ke dioda, yang mana diode akan menjadi konduktif, menuju ke keluaran dari rangkaian.



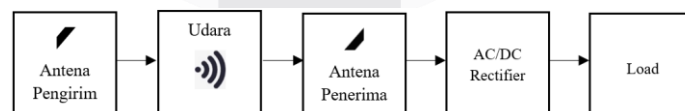
Gambar 5. Topologi *4-stage voltage multiplier*

Topologi *voltage multiplier* memiliki keuntungan mencapai tingkat tegangan output DC yang lebih tinggi, hampir dua kali lipat dari yang dapat dicapai oleh struktur dioda tunggal. Di sisi lain, efisiensi konversi RF-DC biasanya lebih sedikit untuk struktur tunggal. Dengan mengalirkan beberapa kali topologi yang sama, pengganda tegangan dapat diperoleh[2].

3. Perancangan dan Simulasi Antena

3.1. Desain Sistem

Perancangan hardware yang terdiri atas bagian pengirim dan bagian penerima akan dijelaskan sebagai berikut :



Gambar 5. Blok diagram perancangan.

Input yang berasal dari antenna pengirim yang menyebar frekuensi 2,4 Ghz ke udara. Pada udara gelombang elektromagnetik merambat dan bergerak menuju ke antenna penerima. Gelombang elektromagnetik kemudian diterima oleh antenna penerima *bowtie dipole array* yang terhubung dengan *rectifier*. Gelombang yang masuk pada antenna berupa arus AC dan diteruskan ke *rectifier* sehingga menjadi arus DC. Karena pada antenna mikrostrip *gain* yang dihasilkan tidak begitu besar, maka sama halnya dengan daya yang diterima pada antenna penerima, sehingga untuk meningkatkan daya keluaran dari *rectifier*, maka digunakan topologi *voltage multiplier*. Daya keluaran dari *rectifier* kemudian dapat dicatu dengan beban, baik berupa LED atau perangkat lain dengan daya kecil.

3.2. Perancangan Antena

3.2.1 Menentukan Spesifikasi Antena

Hal yang pertama kali dilakukan dalam merancang *microstrip* slot antenna adalah menentukan spesifikasi antenna, dengan mengetahui spesifikasi antenna akan mempermudah dalam proses optimasi, dimana proses optimasi mengacu pada spesifikasi antenna. Berikut spesifikasi antenna yang diinginkan :

- a. Frekuensi Kerja : 2.4 Ghz
- b. *Bandwidth* : ≥ 100 Mhz
- c. Impedansi : 50Ω
- d. *Return Loss* : ≤ -10
- e. Pola Radiasi : *Uni Directional*
- f. Polarisasi : *Linear*
- g. *Gain* : > 4 dB

Bahan yang digunakan dalam perancangan adalah *copper* untuk dibagian *patch*, *groundplane* dan saluran catu. Sedangkan bahan dielektrik yang digunakan sebagai substrat adalah FR4.

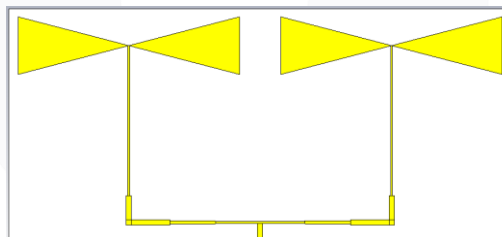
3.2.2 Menentukan Dimensi Antena

Pada perancangannya dilakukan perhitungan dan optimasi pada *patch* antenna. Adapun hasil dari perhitungan yang telah dilakukan dengan hasil optimasi dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Dimensi antenna sebelum dan sesudah optimasi

| Dimensi antenna | Sebelum Optimasi (mm) | Setelah Optimasi (mm) |
|-----------------|-----------------------|-----------------------|
| L_1 | 107.824 | 85.82 |
| L_2 | 16.847 | 16.84 |
| L_g | 159.646 | 135 |
| L_p | 60.35 | 58 |
| t | 0.035 | 0.035 |
| h | 1.6 | 1.6 |
| W_1 | 0.709 | 1 |
| W_2 | 3.06 | 3 |
| W_g | 114.126 | 135 |
| W_p | 104.526 | 127.5 |

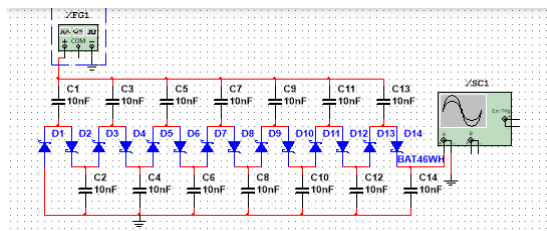
Berdasarkan hasil perhitungan dan optimasi yang dilakukan, maka didapatkan bentuk antenna seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Patch Bowtie Array 1x2.

3.3. Perancangan Rectifier

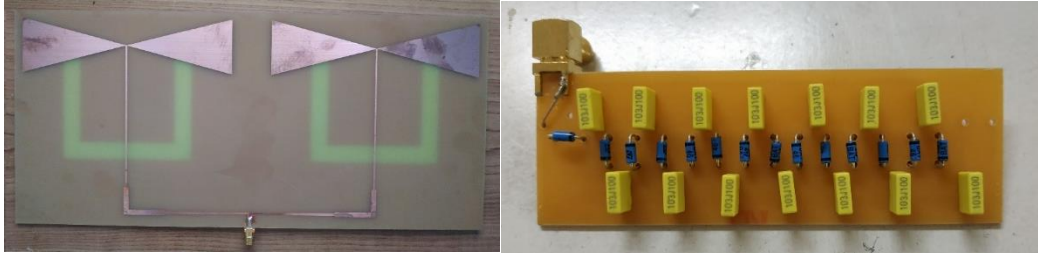
Perancangan rectifier menggunakan topologi *voltage multiplier* dengan jumlah stage 7. Pada simulasi didapatkan keluaran sebesar 1,462 V dengan nilai tegangan input sebesar 400mVp atau 282,84 mVrms. Bentuk perancangan dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Simulasi Perancangan Rectifier.

3.4. Realisasi antenna dan rectifier

Setelah dilakukan simulasi, maka dibuat *prototype* alat. Rectenna yang dirancang dapat dilihat pada gambar 8.



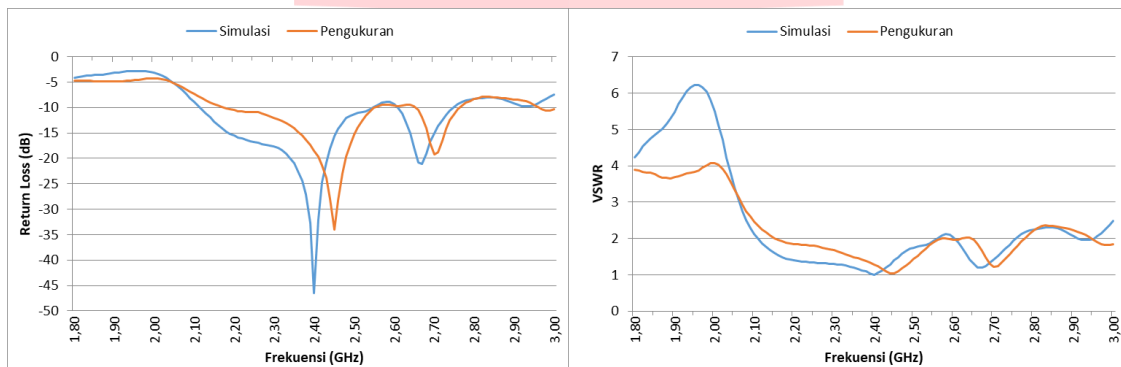
Gambar 8. (a) Realisasi antenna tampak depan (b) Realisasi *rectifier*.

4. PENGUKURAN DAN ANALISIS

4.1. Pengukuran dan Analisis Antena

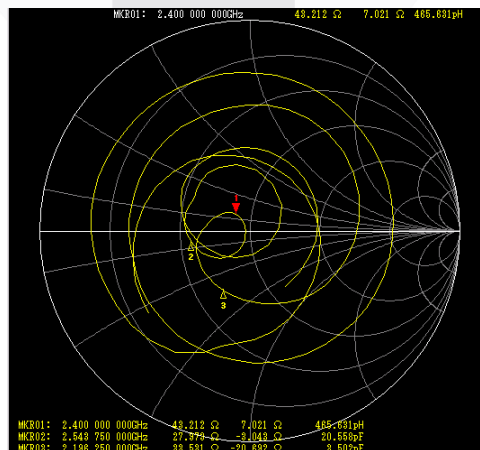
4.1.1. Pengukuran *Return loss* , VSWR dan impedansi.

Pada gambar 9, hasil menunjukkan pada frekuensi 2,4 GHz nilai *return loss* berada pada -17,525 dB dengan frekuensi kerja yang bergeser. Dari gambar 10 dapat diketahui bahwa pada frekuensi kerja antenna simulasi berada tepat di 2,4 GHz dengan nilai *return loss* -46,448 dB namun pada antenna realisasi mengalami pergeseran frekuensi kerja yaitu pada 2,45 GHz dengan nilai *return loss* -33,946 dB.



Gambar 9 Perbandingan nilai *return loss* dan VSWR pada simulasi dengan pengukuran.

Karena frekuensi kerja yang bergeser, maka hal tersebut juga berpengaruh pada nilai VSWR.. Pada gambar 10 didapat nilai VSWR antenna realisasi adalah 1,29 sedangkan antenna simulasi adalah 1,0095. Dari data juga dapat diketahui *bandwidth* antenna, dengan batas bawah berada pada frekuensi 2,15 GHz dan batas atas pada frekuensi 2,58 GHz. Maka lebar *bandwidth* antenna adalah 430 Mhz.



Gambar 10. Impedansi antenna realisasi.

Impedansi antenna saat simulai adalah 50 Ω dan perancangan adalah 50,6 Ω. Namun,pada antenna realisasi mengalami penurunan hingga 43,212 Ω seperti pada gambar 11. Hal ini tentunya memiliki

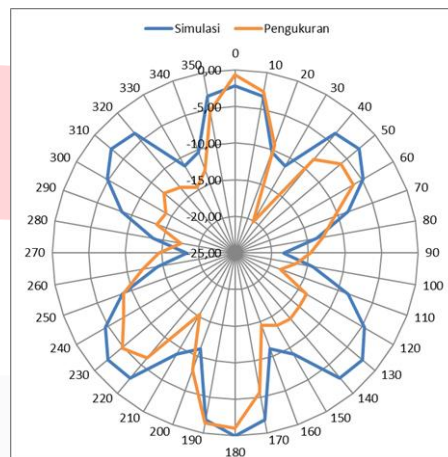
pengaruh terhadap transfer daya dari antenna dan *rectifier*. Transfer daya maksimum akan terjadi apabila keduanya memiliki impedansi yang sama. Perbedaan nilai impedansi mungkin terjadi akibat dari fabrikasi, solderan dan korosi yang terjadi pada patch antenna.

4.1.2. Pengukuran *Gain*, Polaradiasi dan Polarisasi.

Jarak minimal pengukuran adalah 1,5376 meter, namun pada saat pengukuran jarak yang digunakan adalah 1 meter karena luas ruangan terbatas dan lebih optimal apabila mengukur pada jarak 1 meter. Dari hasil pengukuran didapat daya terima rata-rata dari antenna adalah -34,446 dBm. Untuk mengetahui *gain* antenna menggunakan rumus:

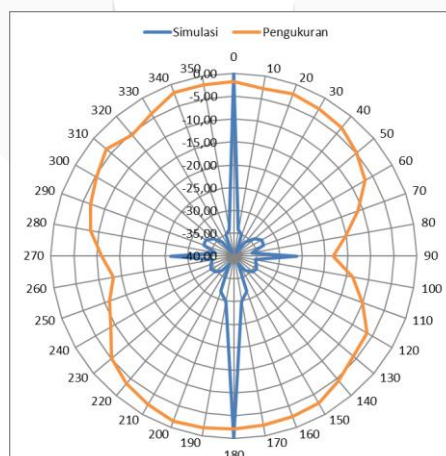
$$G_{dBi} = \frac{1}{2} \left[20 \log \frac{4\pi R}{\lambda} + 10 \log \frac{W_{RX}}{W_{TX}} \right] = 2,798 \text{ dBi}$$

Nilai gain yang dihasilkan dari simulasi adalah 6,321 dB dan dari realisasi antenna adalah 2,798 dBi, memiliki selisih hingga 3,523 dB.



Gambar 11. Perbandingan pola radiasi azimuth pada antenna simulasi dan realisasi.

Dari gambar 11 dapat dilihat bahwa bentuk pola radiasi azimuth keduanya tidak jauh berbeda, namun pada antenna realisasi terlihat memiliki pola yang hilang pada pengukuran 120° hingga 150° dan 290° hingga 320°.



Gambar 12. Perbandingan polarisasi pada antenna simulasi dan realisasi.

Perbandingan pada gambar 12 terlihat bentuk polarisasi pada simulasi dan realisasi berbeda. Pada pengukuran didapat nilai AR antenna sebesar 8,443 sedangkan pada simulasi 40 dB, maka dapat diketahui bahwa polarisasi antenna realisasi adalah elips dan realisasi adalah linear.

Dari banyaknya tahapan yang dilakukan untuk optimasi antenna, nilai dari parameter tiap antenna dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan simulasi dengan pengukuran antenna.

| Parameter | Simulasi | Optimasi | Optimasi Slot | Array | Realisasi |
|------------------|----------------|----------------|---------------|---------------|---------------|
| Return loss (dB) | -12,24 | -20,855 | -17,442 | -14,789 | 2,087 |
| VSWR | -4,096 | 1,199 | 1,31 | -1,445 | -1,55 |
| Gain (dB) | -12,24 | -5,743 | 3,193 | 4,451 | 2,087 |
| Pola radiasi | Unidirectional | Unidirectional | Bidirectional | Bidirectional | Bidirectional |
| Polarisasi | Linear | Linear | Linear | Linear | Elips |

4.2. Pengukuran dan Analisis Rectifier

Dari pengukuran didapatkan hasil seperti pada tabel 3. Rata-rata output dari input -2 dBm adalah 86,77 mV dan rata-rata output dari input 2 dBm adalah 165,725 mV. Jika dikonversi kedalam watt nilai -2 dBm adalah 0.00063 dan nilai 2 dBm adalah 0.00158.

Tabel 3. Pengukuran rectifier.

| Input (dBm) | Output (mV) | | | | Rata-rata (mV) |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| | Pengukuran 1 | Pengukuran 2 | Pengukuran 3 | Pengukuran 4 | |
| -2 | 86,6 | 86,4 | 87,8 | 86,3 | 86,77 |
| 2 | 168 | 168,1 | 164,6 | 162,2 | 165,725 |

4.3. Pengukuran dan Analisis Rectenna

Dari pengukuran yang telah dilakukan kemudian keluaran dari rectifier diukur dengan menggunakan multimeter. Hasil pengukuran keluaran rectifier dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Pengukuran rectenna.

| Input rata-rata | Output (mV) | | | | Rata-rata (mV) |
|-----------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| | Pengukuran 1 | Pengukuran 2 | Pengukuran 3 | Pengukuran 4 | |
| -26 dBm | 8,23 | 8,46 | 7,72 | 7,98 | 8,09 |

Pada pengukuran yang telah dilakukan, hasil keluaran dari pengukuran rectenna yang didapat sangat kecil. Hal ini dikarenakan pada pengukuran rectifier sendiri nilai input setidaknya berada di -2 dB masih menghasilkan nilai tegangan keluaran rata-rata di 86,77 mV. Namun pada antenna memiliki daya terima hanya hingga -26 dBm, nilai tersebut masih sangat kecil untuk dapat menyearahkan dan memultiplikasi keluaran dari rectifier.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari seluruh proses perancangan dan realisasi rectenna bowtie dipole array 1x2 dengan voltage multiplier adalah sebagai berikut :

1. Pada saat pengukuran antenna realisasi, didapati bahwa frekuensi kerja antenna bergeser pada 2,45 GHz. Hal tersebut memberikan pengaruh yang besar terhadap perbandingan antara antenna simulasi dan realisasi.
2. Nilai return loss antenna simulasi pada frekuensi 2,4 GHz adalah -46,448 dB namun pada antenna realisasi mengalami pergeseran frekuensi kerja sehingga nilai return loss antenna menjadi -17,525 dB.
3. Nilai VSWR yang dihasilkan dari pengukuran berbeda dengan simulasi. Pada simulasi dengan frekuensi 2,4 GHz nilai VSWR adalah 1,0095 dan realisasi adalah 1,29, keduanya memiliki selisih 0,28.
4. Nilai gain yang dihasilkan berbeda pada simulasi dan realisasi. Pada frekuensi 2,4 GHz simulasi sebesar 6,321 dB dan dari pengukuran 2,798 dB, nilai gain terpaut hingga 3,523 dB.
5. Impedansi pada simulasi dan realisasi berbeda. Pada frekuensi 2,4 GHz impedansi antenna saat simulasi adalah 50 Ω dan perancangan adalah 50,6 Ω , namun pada antenna realisasi mengalami penurunan hingga 43,212 Ω .

6. Pola radiasi yang diperoleh dari pengukuran dengan simulasi tidak jauh berbeda, pada antenna realisasi memiliki pola yang hilang pada sudut 120° hingga 150° dan 290° hingga 320° . Jenis pola radiasi dari antenna simulasi dan realisasi adalah *bidirectional*.
7. Polarisasi yang dihasilkan pada pengukuran memiliki nilai yang berbeda dengan simulasi. Pada simulasi didapatkan jenis polarisasi antenna adalah linear sementara pada simulasi adalah *elips*.
8. Keluaran *rectifier* yang diperoleh dari pengukuran dengan input -2 dBm adalah 86,77 mV dengan frekuensi 2,4 GHz, apabila frekuensi diturunkan maka keluaran dari *rectifier* akan meningkat. Pada pengukuran penurunan frekuensi input pada *rectifier*, terbukti bahwa desain *voltage multiplier* dapat memmultiplikasi tegangan input.
9. Tegangan keluaran dari *rectenna*, walaupun dengan input yang sangat kecil yaitu -26 dBm, masih dapat menghasilkan keluaran hingga 8,09 mV.

5.2. Saran

Untuk mendapatkan performansi rectenna yang lebih bagus, ada beberapa hal yang dapat dijadikan saran sebagai pengembangan tugas akhir selanjutnya, yaitu :

1. Untuk menghasilkan keluaran yang cukup pada antenna untuk dapat memicu rectifier, harus memperhatikan bahan yang digunakan, kelayakan kabel, solderan dan hal-hal yang berkaitan dengan loss.
2. Pemilihan frekuensi kerja pada *energy harvesting* sebaiknya memperhatikan besar daya yang ada agar alat dapat bekerja dengan baik.
3. Apabila penelitian selanjutnya mengembangkan ide dari penulis dianjurkan untuk menghindari menggunakan substrat yang sama dikarenakan dimensi yang terlalu besar sehingga biaya yang dibutuhkan untuk melakukan fabrikasi cukup mahal.

Daftar Pustaka:

- [1] C.A Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design," Chichester: John wiley & sons ltd, 2016.
- [2] A. Johnson I, "Wireless Power Transfer," Denmark: River Publishers, 2015.
- [3] B. Jayant B," Advance Power Rectifier Concepts," New York: Springer Dordrecht Heidelberg, 2009.
- [4] Vishay, "BAT46," Vishay Intertechnology 2017.
- [5] M. T. Penella and M. Gasulla, "Powering Autonomus Sensor, An Integral Approach with Focus on Solar and RF Energy Harvesting," New York: Springer, 2011.
- [6] H. J. Visser, "Array and Phased Array Antenna Basic," Chichester: John wiley & sons ltd, 2005.
- [7] R. J. Mailloux, "Phased Array Antenna Handbook," Norwood: Artech House, INC, 2005.